

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

09. 8. 2004

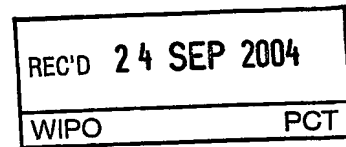
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 3 年 9 月 3 0 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 3 4 0 0 2 0
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 4 0 0 2 0]

出 願 人
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

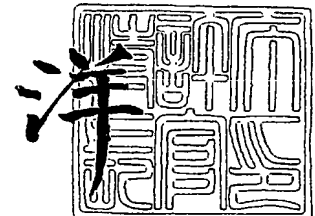


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 9 月 1 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 2925150043
【提出日】 平成15年 9月30日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01L 33/00
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 永井 秀男
【特許出願人】
 【識別番号】 000005821
 【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100090446
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 中島 司朗
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 014823
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9003742

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

基板と、前記基板の主面上に結晶成長によって形成された半導体多層膜とを有し、
前記半導体多層膜は、第 1 の導電型層、発光層、第 2 の導電型層を、前記基板側からこの順に含み、

当該半導体多層膜の、最外層から少なくとも第 1 の導電型層までが、略円形または略 N 角形（N は 5 以上の整数）をした横断面を有する柱状部に形成されていることを特徴とする半導体発光装置。

【請求項 2】

前記半導体多層膜の前記最外層の主面および前記柱状部側面を覆う蛍光体膜を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光装置。

【請求項 3】

前記最外層の主面を覆う蛍光体膜の厚みと前記柱状部側面を覆う蛍光体膜の厚みがほぼ等しいことを特徴とする請求項 2 記載の半導体発光装置。

【請求項 4】

前記基板の前記主面の形状が方形であることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の半導体発光装置。

【請求項 5】

前記基板と前記第 1 の導電型層との間に光反射層が形成されていることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の半導体発光装置。

【請求項 6】

前記半導体多層膜の前記柱状部は、基板までに至る分割溝によって、複数の領域に分割され、各領域が独立した発光素子として構成されていることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の半導体発光装置。

【請求項 7】

前記各発光素子において、前記第 2 の導電型層と前記発光層の一部が除去されて露出した前記第 1 の導電型層表面には第 1 の電極が形成されており、前記第 2 の導電型層表面には第 2 の電極が形成されていて、

前記各発光素子が、一の発光素子の第 1 の電極とこれとは別の一の発光素子の第 2 の電極とが、金属薄膜からなる配線によって順次接続される形で、直列に接続されていることを特徴とする請求項 6 記載の半導体発光装置。

【請求項 8】

前記各発光素子における発光層の面積がほぼ等しいことを特徴とする請求項 7 記載の半導体発光装置。

【請求項 9】

プリント配線板と、

前記プリント配線板に実装された、請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の半導体発光装置とを有することを特徴とする発光モジュール。

【請求項 10】

光源として請求項 9 の発光モジュールを備えたことを特徴とする照明装置。

【請求項 11】

基板の一方の主面上に、当該基板側から第 1 の導電型層、発光層、第 2 の導電型をこの順に含む半導体多層膜を結晶成長によって形成する結晶成長工程と、

前記半導体多層膜の最外層から少なくとも第 1 の導電型層までの一部を除去して、最外層から少なくとも第 1 の導電型層までが、略円形または略 N 角形（N は 5 以上の整数）をした横断面を有する複数の柱状部に分離する多層膜分離工程と、

前記基板を、前記各柱状部を含む領域ごとにダイシングするダイシング工程と、

を有することを特徴とする半導体発光装置の製造方法。

【請求項 12】

前記ダイシング工程の前に、前記各柱状部の上面と側面を覆うように蛍光体膜を形成す

る蛍光体膜形成工程を有することを特徴とする請求項 1 1 記載の半導体発光装置の製造方法。

【請求項 1 3】

前記半導体多層膜に対し前記基板までに至る溝を入れ、前記各柱状部を複数の領域に分割する分割工程を有することを特徴とする請求項 1 1 または 1 2 記載の半導体発光装置の製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】半導体発光装置、発光モジュール、照明装置、および半導体発光装置の製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、発光ダイオード（以下、「LED（Light Emitting Diode）」という。）チップ等の半導体発光装置、当該半導体発光装置を用いた発光モジュールおよび照明装置、並びに半導体発光装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

LEDの分野において、近年、白色LEDの高輝度化が進むにつれ、当該白色LEDを照明用途に用いる研究が活発になされている。点光源であるLEDは、中でもその特性から店舗、美術館、ショールームなどのスポット照明として、従来普及しているハロゲン電球等の代替光源としての用途が期待されている。

しかしながら、従来の白色LEDでは、被照射面におけるビームのスポット形状が方形に歪んでしまうので、照明用途に用いる場合には、この点を改善する必要がある。スポット形状が方形になるのは、白色LEDを構成するLEDチップが直方体であり、方形をしている一面から光が射出されるからである（例えば、特許文献1を参照。）。LEDチップの当該形状は製法上の制約に起因する。

【0003】

LEDチップの製造方法の概要を説明すると以下のようになる。先ず、基板上に結晶成長によって、発光層を含む半導体多層膜を形成する。必要に応じ金属電極層を形成した後、メサ・エッチングにより基板上の半導体多層膜に対して格子状に溝を入れる。これにより、チップ状態と同じ数百ミクロン角の発光面積をもった一つ一つのダイオードに分離される。そして、分離された個々のダイオードの特性検査をした後、当該ダイオードを一つ一つのチップに分離するため、メサ・エッチングで作られた溝をダイヤモンドカッタでダイシングし、さらに深く切り込みを入れる。最後に、切り込み部分で機械的にブレイクし、個々のチップに分離してLEDチップが完成する。

【特許文献1】特開2001-15817号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

LEDチップからのビームのスポット形状を円形にするには、上記半導体多層膜が形成された基板から、個々のチップを円柱状に切り出せばよい。しかしながら、ダイヤモンドカッタで数百ミクロンオーダーの直径を有する円形に切り込みを入れるのは不可能である。また、直方体に切り出されたLEDチップを円柱状に研磨する方法も考えられるが、その大きさからして、到底現実的とはいえない。

【0005】

本発明は、上記した課題に鑑み、ビームのスポット形状が略円形である、またはビームのスポット形状を方形よりも円形に近づけた半導体発光装置およびその製造方法、並びに、当該半導体発光装置を用いた発光モジュールおよび照明装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記の目的を達成するため、本発明に係る半導体発光装置は、基板と、前記基板の主面上に結晶成長によって形成された半導体多層膜とを有し、前記半導体多層膜は、第1の導電型層、発光層、第2の導電型層を、前記基板側からこの順に含み、当該半導体多層膜の、最外層から少なくとも第1の導電型層までが、略円形または略N角形（Nは5以上の整数）をした横断面を有する柱状部に形成されていることを特徴とする。

【0007】

また、前記半導体多層膜の前記最外層の主面および前記柱状部側面を覆う蛍光体膜を備えたことを特徴とする。

さらに、前記最外層の主面を覆う蛍光体膜の厚みと前記柱状部側面を覆う蛍光体膜の厚みがほぼ等しいことを特徴とする。

また、前記基板の前記主面の形状が方形であることを特徴とする。

【0008】

また、前記基板と前記第1の導電型層との間に光反射層が形成されていることを特徴とする。

また、前記半導体多層膜の前記柱状部は、基板までに至る分割溝によって、複数の領域に分割され、各領域が独立した発光素子として構成されていることを特徴とする。

さらに、前記各発光素子において、前記第2の導電型層と前記発光層の一部が除去されて露出した前記第1の導電型層表面には第1の電極が形成されており、前記第2の導電型層表面には第2の電極が形成されていて、前記各発光素子が、一の発光素子の第1の電極とこれとは別の一の発光素子の第2の電極とが、金属薄膜からなる配線によって順次接続される形で、直列に接続されていることを特徴とする。

【0009】

また、前記各発光素子における発光層の面積がほぼ等しいことを特徴とする。

上記の目的を達成するため、本発明に係る発光モジュールは、プリント配線板と、前記プリント配線板に実装された、上記の半導体発光装置とを有することを特徴とする。

上記の目的を達成するため、本発明に係る照明装置は、光源として上記発光モジュールを備えたことを特徴とする。

【0010】

上記の目的を達成するため、本発明に係る半導体発光装置の製造方法は、基板の一方の主面上に、当該基板側から第1の導電型層、発光層、第2の導電型をこの順に含む半導体多層膜を結晶成長によって形成する結晶成長工程と、前記半導体多層膜の最外層から少なくとも第1の導電型層までの一部を除去して、最外層から少なくとも第1の導電型層までが、略円形または略N角形（Nは5以上の整数）をした横断面を有する複数の柱状部に分離する多層膜分離工程と、前記基板を前記各柱状部を含む領域ごとにダイシングするダイシング工程とを有することを特徴とする。

【0011】

また、前記ダイシング工程の前に、前記各柱状部の上面と側面を覆うように蛍光体膜を形成する蛍光体膜形成工程を有することを特徴とする。

また、前記半導体多層膜に対し前記基板までに至る溝を入れ、前記各柱状部を複数の領域に分割する分割工程を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明に係る半導体発光装置によれば、第1の導電型層、発光層、第2の導電型層を基板側からこの順に含む半導体多層膜の、最外層から少なくとも第1の導電型層までが、略円形または略N角形（Nは5以上の整数）をした横断面を有する柱状部に形成されているので、当該半導体発光装置から発せられる光のスポット形状は、略円形または略N角形（Nは5以上の整数）となる。すなわち、方形よりも円形に近いスポット形状を得ることができる。

また、本発明に係る発光モジュールや照明装置によれば、上記した半導体発光装置を有しているので、発せられる光のスポット形状が、方形よりも円形に近いものとなる。

また、本発明に係る半導体発光装置の製造方法によれば、基板側から第1の導電型層、発光層、第2の導電型をこの順に含み、結晶成長によって形成された半導体多層膜の最外層から少なくとも第1の導電型層までの一部を除去して、最外層から少なくとも第1の導電型層までが、略円形または略N角形（Nは5以上の整数）をした横断面を有する複数の柱状部に分離する多層膜分離工程を有するので、上記した効果を奏する半導体発光装置の製造が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。

図1は、半導体発光装置であるLEDアレイチップ2の概略構成を示す外観斜視図であり、図2は、LEDアレイチップ2の平面図である。なお、図1は、後述するLED(D1~D36)の配列を主に示す図であり、外形の細かな凹凸などは省略したものである。また、図2では、後述する蛍光体膜50と同じく後述するp側電極における凹凸構造の図示は省略している。

【0014】

図1、図2に示すように、LEDアレイチップ2は、半導体基板であるノンドープ（高抵抗）SiC基板4（以下、単に「SiC基板4」と言う。）上に、発光層を含む半導体多層膜が全体的には円柱状に形成されてなるものである。以下、方形（本例では、正方形）のSiC基板4上の略円柱状をした半導体多層膜部分を「柱状部6」と称することとする。柱状部6は、放射状に延びる分割溝8によって、周方向に等角度で複数の領域（本例では、12の領域）に分割されている。すなわち、約30度の中心角を有する12個の扇形部に分割されている。各扇形部は、同心円状に形成された2本の分割溝10、11によって、さらに径方向に複数の領域（本例では、3つの領域）に分割されている。したがって、半導体多層膜からなる柱状部6は、合計36（=12×3）の領域に分割され、各領域がそれぞれ独立した発光素子であるLEDを構成している。36個のLEDの各々は、図1に示すようにD1~D36の符号を付して区別することとする。

【0015】

なお、円弧状の分割溝10、11は、D1~D36における各々の発光層の面積がほぼ等しくなるような位置に設けられている。当該位置は、柱状部6の大きさ（径の大きさ）に拘わらず、図2中に示す、長さL1、L2、L3の比L1:L2:L3が1:√2:√3となるような位置である。また、SiC基板4の一辺の長さは、約2mmであり、柱状部6の径は、約1.8mmである。

【0016】

LEDアレイチップ2における各LEDの構成について、断面図を参照しながら説明する。

図3(a)は、図2におけるA-A線断面図であり、図3(b)は、同B-B線断面図である。すなわち、36個のLEDの内、図3(a)では、D1とD2が、図3(b)では、D35とD36が表されている。なお、各LED(D1~D36)を構成する半導体多層膜の積層方向の構成は、いずれのLEDでも同様なので、ここでは、D35に符号を記入して説明することとする。

【0017】

各LEDは、SiC基板4上に順次積層されたn-AlGaInバッファ層12（厚さ30nm）、n-AlGaIn/GaN30周期のDBR（Distributed Bragg Reflector）層14（合計厚さ3μm）、n-GaNクラッド層16（Siドープ量 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ200nm）、InGaIn（厚さ2nm）/GaN（厚さ8nm）6周期の多重量子井戸発光層18、p-GaNクラッド層20（Mgドープ量 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ200nm）、p-GaNコンタクト層22（Mgドープ量 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ200nm）、n⁺-GaN再成長層24（Siドープ量 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ100nm）の半導体多層膜から成る。すなわち、各LEDは、SiC基板4側に配された導電型層（n-GaNクラッド層16）と光取出し側に配された導電型層（n⁺-GaN再成長層24、p-GaNコンタクト層22、p-GaNクラッド層20）とで発光層（多重量子井戸発光層18）を挟んでなる構成を基本としている。

n⁺-GaN再成長層24およびp-GaNコンタクト層22上には、Ti/Auからなるp側電極26が形成されており、n-GaNクラッド層16上には、Ti/Auからなるn側電極28が形成されている。

【0018】

上記の構成からなるLEDにおいて、p側電極26とn側電極28を介して給電することにより、発光層18から波長460nmの青色光が発せられる。

また、光取出し面となる上記p側電極面には、光取出し効率を改善するために、所定周期の凹凸が形成されている。当該凹凸は、後述するようにして、p-GaNコンタクト層22上に、 n^+ -GaN再成長層24を部分的に形成することによって得られるものである。

【0019】

なお、青色光を発光させるための半導体多層膜の各層を構成する半導体の組成は、上記のものに限らない。当該各層は、一般式 $B_z A_{1-x-y-z} I_n N_{1-v-w} A_s P_w$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$, $0 \leq x+y+z \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$, $0 \leq w \leq 1$, $0 \leq v+w \leq 1$) で表されるIII-V族窒化物半導体（一般にBAIGaInNAsPと記載され、以下GaN系半導体という）で構成することができる。因みにGaN系半導体材料は、組成に応じて紫外域200nm～赤外域1700nmの広範囲において発光可能な材料として知られている。特に現時点では、青緑色より短波長域の発光応用で普及しつつある。

【0020】

上記の構成から成る36個のLED(D1～D36)は、SiC基板4上で直列に接続されている。続いて、その接続態様について説明する。

図3に示すように、D1、D2、D35、D36の側壁や分割溝10を覆うようにSi₃N₄からなる絶縁膜30が形成されている。そして、当該絶縁膜30上には、D1のn側電極28aとD2のp側電極26bを接続する、金属薄膜であるTi/Pt/Au膜からなる配線32aが形成されている。また、D35のn側電極28cとD36のp側電極26dとの間も、絶縁膜30上に形成された配線32bによって接続されている。そして、D2～D35間も同様にして30で接続されている。例えば、図2に示すように、D3のn側電極28eとD4のp側電極26fとは、配線32cで接続されており、D6のn側電極28gとD7のp側電極26hとは、配線32dで接続されている。この結果、全てのLED(D1～D36)が、図4(a)の接続図に示すように、直列に接続されている。

LEDアレイチップ2において、直列接続された36個のLEDの内、高電位側末端のD1のp側電極26aがLEDアレイチップ2のアノード電極となる。また、低電位側末端のD36のn側電極28dが当該LEDアレイチップ2のカソード電極となる。

【0021】

また、図2に示すように、SiC基板4の半導体多層膜形成側主面には、当該半導体多層膜を取り囲むようにして、Ti/Pt/Auからなる導体パターン34、36が形成されている。そして、導体パターン34とD1のp側電極26aとが配線32eを介して接続されており、導体パターン36とD36のn側電極28dとが配線32fを介して接続されている。

【0022】

図4(b)は、LEDアレイチップ2の裏面を表した図である。図4(b)に示すように、D1～D36とは反対側のSiC基板4表面には、2個の給電端子38、40が形成されている。給電端子38、40は、いずれも、Ti/Pt/Au膜からなる。

そして、給電端子38と導体パターン34とが、SiC基板4に開設された2個のスルーホール42、44を介して接続されており、給電端子40と導体パターン36とが、同じくSiC基板4に開設された2個のスルーホール46、48を介して接続されている。この結果、給電端子38とD1のp側電極26aとが電氣的に接続され、給電端子40とD36のn側電極28dとが電氣的に接続されることとなる。なお、スルーホール42、44、46、48は、SiC基板4に開設された直径30μmの孔にPtを充填してなるものである。上記給電端子38、40から、直列接続された36個のLED(D1～D36)に、放熱を確保した状態で50mAの電流を通電した際の動作電圧は120Vであった。

【0023】

また、このとき、各LED(D1~D36)における発光層18の面積がほぼ同一なので、各LEDにおける電流密度もほぼ同じとなって、D1~D36間で均一な光量を得ることができる。その結果、被照射面における照度むらの発生防止が図られる。

SiC基板4の表面側には、略円柱状をしたLEDアレイ(半導体多層膜)の上面および側面を覆うように蛍光体膜50が形成されている。蛍光体膜50は、シリコンなどの透光性樹脂に $(Sr, Ba)_2SiO_4:Eu^{2+}$ の黄色蛍光体粉末と SiO_2 の微粒子を分散させたものからなる。蛍光体膜50全体的に渡ってほぼ均一に約 $50\mu m$ の厚みを有している。なお、透光性樹脂には、シリコンに限らず、エポキシ樹脂やポリイミド樹脂を用いても構わない。

【0024】

各LED(D1~D36)の発光層18から放射された青色光の一部は、上記蛍光体膜50中の蛍光体によって黄色光に変換される。そして、LEDからの青色光と蛍光体からの黄色光が合成されて(混色されて)白色光が発生する。

このとき、LEDアレイチップ2において、発光層を含む半導体多層膜が略円柱状に形成されており、蛍光体膜50が当該半導体多層膜に対してほぼ均一な厚みで形成されている(すなわち、蛍光体膜50は、有底円筒状をしている。)ので、当該LEDアレイチップ2から得られる光のスポット形状もほぼ円形となる。したがって、LEDアレイチップ2は、照明用光源として好適なものとなる。また、発光層18とSiC基板4の間には光反射層であるDBR層14が形成されているため、発光層18で生じSiC基板4に向かって放射された青色光の99パーセント以上が光取り出し面側へと反射される。これにより、各LEDにおける光取り出し効率が向上する。また、D1~D36の内、最外周に位置するD1, D6, D7, D12, D15, D18, D19, D24, D25, D30, D31, D36の外周側面もその上面とほぼ同じ厚みの蛍光体膜50で覆われているので、これらLEDの発光層18の側部から射出される青色光も各LED上面から放出される青色光と同様に黄色光に変換されることとなって、色むらの低減を図ることが可能となる。なお、本明細書において、青色光とは、波長が400nm以上500nm未満の範囲の光をいい、黄色光とは、波長が550nm以上600nm未満の範囲の光をいうものとする。したがって、上述した例では、LED6を主発光ピーク波長が460nmのものとしたが、これ以外の波長であって、上記波長範囲に主発光ピーク波長を有するLEDを構成することとしても構わない。

【0025】

色むらは、可視域である380nm~780nm(紫~赤)の波長のスペクトル成分を含む光を発光層が発する場合に生じる。したがって、「近紫外光を励起光源に用いた白色LED」といった場合には、一般的に、色むらが生じないものと思われる。しかしながら、例えば、主要ピーク波長が370nm(紫外域)の場合でも、そのスペクトルは長波長側に裾を引いており、可視域である380nm以上にも波長成分をもっていることから、現実には、色むらが問題となる。したがって、本発明は、近紫外光を発生するように発光層を構成したものに適用しても、上記した理由から、色むらの低減に効果を発揮することとなる。換言すると、本発明は、上記色むらの観点からは、発光層からの出射光が少なくとも380nm以上780nm以下の範囲の波長成分を含むものに適用可能であって、上記した主発光ピーク波長が460nmの青色光を発する発光層で構成されるLEDに限定されないものである。

【0026】

以上の構成からなるLEDアレイチップ2の製造方法について説明する。

LEDアレイチップ2は、種々の工程を経て製造されるのであるが、ここでは、まず、上記した柱状部6(図1参照)の形成工程を中心に、図5~図9を参照しながら説明する。

まず、図5(a)に示すノンドープSiC基板104(以下、単に「基板104」と言う。)の主面上に半導体多層膜を形成する。

【0027】

半導体多層膜の形成された基板104の上面全面に、エッチングレジスト（ポジレジスト）を塗布し、熱硬化させて、図5（b）に示すようにレジスト膜61を形成する。

次に、図6に示すように、基板104に、ガラス板にパターン591が黒色印刷されてなるフォトマスク59を重ねる。上記パターン591は、図7（a）に示すパターン592が隙間なくマトリックス状に並んでなるパターンである。フォトマスク59を基板104に重ねた状態で、レジスト膜61を水銀ランプを用いて露光し、印刷がされていない透明な部分（図7（a）の白抜き部分）に対応するレジスト膜を軟化させる。軟化した部分のレジスト膜を、当該軟化部分を溶融する有機溶剤で除去する。これにより、図8（a）に示すようなレジストマスク63が形成される。

【0028】

レジストマスク63が形成されると、基板104上面全面に対して、蒸着によってAu膜を形成する。そして、硬化したままのレジストを溶融する有機溶剤によって、レジストマスク63上に形成されたAu膜を当該レジストマスク63と共に除去することによって、図8（a）の白丸に対応する部分に、図8（b）に示すようにメタルマスク58が形成されることとなる。マスキング領域は、柱状部形成予定領域（結局、図7（a）に示す白抜き部分に対応する領域となる。）である。そして、非マスキング領域に対応する部分を、基板104に至る手前のn-GaNクラッド層16（図3参照）が現れるまでドライエッチング（塩素イオンを含むガス中に所定時間さらす）し、完全な柱状部6の略半分の高さの柱状部（以下、「半柱状部」と称する。）を形成する。エッチング終了後、上記メタルマスク58は、ヨウ素系溶剤によって除去される。

【0029】

上記エッチング工程（以下、「第1エッチング工程」と称する。）によって、図9（a）、（b）に示すように半柱状部600が形成されることとなる。なお、図9（a）は、図9（b）におけるG-G線断面の一部である。また、図9（b）におけるH部の拡大図を図9（c）に示す。

上記のようにして形成された各半柱状部600の周辺部分の半導体多層膜が、上記第1エッチング工程に続く第2エッチング工程によって完全に除去されて、柱状部6（図1参照）が完成する。なお、柱状部6を2回のエッチング工程によって形成する理由については後述する。また、第2エッチング工程は、フォトマスク59（図6）上のパターン形状が異なる以外は、第1エッチング工程と同様である。したがって、説明の繰り返しを避けるため、第2エッチング工程の詳細な説明については省略し、後述する「LEDアレイチップの製造方法に関する一チップ内の詳細」の説明の中で簡単に言及するに止めることとする。

【0030】

続いて、LEDアレイチップ2の製造方法に関し、一チップ内の詳細について、図10～図13を参照しながら説明する。

なお、図10～図13では、LEDアレイチップ2の各構成部分となる素材部分には100番台の符号付し、その下2桁にはLEDアレイチップ2の対応する構成部分に付した番号を用いることとする。また、図10～図13は、図2におけるC-C線に対応する部分の断面図である。

【0031】

先ず、有機金属化学気相成長法（Metal Organic Chemical Vapor Deposition Method；MOCVD法）を用い、図10（a）に示すように、ノンドープSiC基板104上に、n-AlGaInバンプ層112、n-AlGaIn/GaN30周期のDBR層114、n-GaNクラッド層116、InGaIn/GaNの多重量子井戸発光層118、p-GaNクラッド層116、p-GaNコンタクト層122をこの順に積層する[工程（a）]。なお、ノンドープSiC基板104は、直径2インチ、厚さ300 μ mの基板である。

【0032】

p-GaNコンタクト層122上にSiO₂膜54を積層した後、フォトリソ層を

形成する。次に、He-Cdレーザ光を用いた干渉露光により、所定間隔（例えば、1200本/mm）の平行線パターンを3回作成する。3回の平行線パターンは、互いに120度で交差するように作成する。これによりレジストマスク56が形成される[工程（b）]。

【0033】

レジストマスク56に覆われていない部分のSiO₂膜54をエッチングによって除去した[工程（c）]後、レジストマスク56も除去する[工程（d）]。

続いて、MOCVD法により、n⁺-Ga_{0.5}N層124を再成長させる[工程（e）]。このとき、SiO₂膜54上にもn⁺-Ga_{0.5}N層は再成長するが、これについては図示していない。

【0034】

SiO₂膜54上に再成長したn⁺-Ga_{0.5}N層と共に、当該SiO₂膜54を除去する[工程（f）]。

次工程（g）は、上述した第1エッチング工程である。工程（g）は、n側電極28（図3）接続面を形成することを目的の一つとする。先ず、上述したように、Auからなるメタルマスク58を施す。

【0035】

マスキング領域は、各LEDにおけるp側電極26の形成予定領域以外の領域である。そして、非マスキング領域に対応する部分を、n-GaNクラッド層116の半ばまでドライエッチングにより除去する[工程（g）]。これにより、n側電極28接続面60が形成される。メタルマスク58は、次工程（h）に行く前に除去される。

工程（h）は、上述した第2エッチング工程である。前記導体パターン34、36の形成面と前記分割溝8、10、11を形成すべく、これらの形成予定領域以外の領域にメタルマスク62を施す。当該メタルマスク62形成工程は、上述したように、レジスト膜の露光に使用するフォトマスク59（図6）のパターン形状が異なる以外は、第1エッチング工程[工程（g）]と同様である。メタルマスク62形成工程に用いるパターンの一部を図7（b）に示す。図7（b）において、放射状に延びる12本の太線108に対応する部分に分割溝8（図2参照）が形成され、太線で示す2本の同心円110、111に対応する部分に分割溝10、11（図2参照）が形成され、概略円形をした白抜き部分周辺の黒べた領域に対応する部分に導体パターン34、36の形成面が形成されることとなる。要は、前記導体パターン34、36の形成予定領域と前記分割溝8、10、11の形成予定領域以外の領域、すなわち、柱状部6として残す領域にメタルマスク62が施されるのである。

そして、非マスキング領域に対応する部分を、基板104が現れるまでドライエッチングして、導体パターン形成面64と分割溝11（8、10）とを形成し、柱状部6（図1）を形成する[工程（h）]。エッチング終了後、メタルマスク62は、次工程に行く前に除去される。なお、上記工程（g）と工程（h）の説明から分かるように、2回のエッチングで柱状部6を形成するのは、n-GaNクラッド層上に形成するn側電極の形成面を確保するためである。

【0036】

工程（h）に続いて、絶縁と表面保護を目的に、スパッタリング等で、絶縁膜であるSi₃N₄膜130を形成する[工程（i）]。

上記Si₃N₄膜130に対し、マスク66を施す。マスキング領域は、p側電極26形成予定領域以外の領域である。そして、非マスキング領域に対応するSi₃N₄膜130をエッチングにより除去した後、Ti/Au薄膜126を蒸着によって形成する。これにより、Ti/Au薄膜からなるp側電極26が形成される[工程（j）]。マスク66上に形成されたTi/Au薄膜126（不図示）は、次工程に行く前に、当該マスク66と一緒に除去される。なお、p側電極26は、上記Ti/Au薄膜に代えてITO透明薄膜で形成してもよい。

【0037】

上記工程(j)と同様の手法により、n側電極28を形成する。すなわち、n側電極28形成予定領域以外の領域にマスク68を形成し、露出した Si_3N_4 膜130部分をエッチングにより除去した後、金属薄膜であるTi/Au膜128を蒸着により形成して、n側電極28を形成する[工程(k)]。マスク68上に形成されたTi/Au膜128(不図示)は、次工程に行く前に、当該マスク68と一緒に除去される。

【0038】

スルーホール42, 44, 46, 48を形成すべく、当該スルーホール形成予定領域以外の領域にマスク70を施す。マスキング後、エッチングによって深さ $200\mu\text{m}$ の孔72を形成し、当該孔に無電解メッキなどでPtを充填する[工程(l)]。マスク70は、次工程行く前に除去される。

続いて、導体パターン34, 36および配線32を形成する。導体パターン34, 36および配線32の形成予定表面以外の表面にマスク74形成したのち、金属薄膜であるTi/Pt/Au膜を蒸着によって形成する。これによって、Ti/Pt/Au膜からなる導体パターン34, 36と配線30が形成される[工程(m)]。マスク74上に形成されたTi/Pt/Au膜(不図示)は、次工程に行く前に、当該マスク74と一緒に除去される。

SiC基板104下面を研磨して厚み $150\mu\text{m}$ に調整し、前記スルーホール42, 44, 46, 48をSiC基板104裏面側から露出させる[工程(n)]。

前工程で研磨した研磨面に、前記給電端子38, 40を形成すべく、当該給電端子38, 40形成予定表面以外の表面にマスク76を形成したのち、金属薄膜であるTi/Pt/Au膜を蒸着によって形成する。これによって、Ti/Pt/Au膜からなる給電端子38, 40が形成される[工程(o)]。前記マスク76上に形成されたTi/Pt/Au膜(不図示)は、次工程に行く前に、当該マスク76と一緒に除去される。

続いて、蛍光体膜50を形成すべく、 $(\text{Sr}, \text{Ba})_2\text{SiO}_4:\text{Eu}^{2+}$ の黄色蛍光体粉末と SiO_2 の微粒子とを分散させたシリコンを印刷によって塗布し、加熱硬化させる。加熱硬化の後、SiC基板104の主面に垂直な方向の厚みが $50\mu\text{m}$ になるまで当該蛍光体膜を研磨する[工程(p)]。白色光の色は、青色光と黄色光のバランスで変化する。このバランスは、シリコン樹脂に含まれる蛍光体の割合や蛍光体膜の厚さで変わる。蛍光体の割合が多いほど、蛍光体膜の厚みが厚いほど、黄色の割合が増えて、色温度が低くなる傾向にある。蛍光体含有シリコン樹脂を設計膜厚よりも厚く塗付し、研磨により所定の設計膜厚にすることにより、蛍光体膜の厚さを均一に出来るので、色むらを抑制できると同時に確実に所定の色温度に合わせることが可能となる。

最後に、ダイシングによって個々のLEDアレイチップに分離して、LEDアレイチップ2(図1参照)が完成する。

【0039】

図14は、上記LEDアレイチップ2を有した白色LEDモジュール200(以下、単に「LEDモジュール200」と言う。)の外観斜視図である。LEDモジュール200は、後述する照明器具240に装着されて用いられるものである。

LEDモジュール200は、直径5cmの円形をしたAlN(窒化アルミ)からなるセラミックス基板202と3個のガラス製レンズ204, 206, 208を有している。セラミックス基板202には、照明器具240に取り付けるためのガイド凹部210や、照明器具240からの給電を受けるための端子212, 214が設けられている。

【0040】

図15(a)はLEDモジュール200の平面図を、図15(b)は図15(a)におけるE-E線断面図を、図15(c)は図15(b)におけるF部拡大図をそれぞれ示している。

図15(a), (b)に示すように、セラミックス基板202の中央には、照明器具240に取り付ける際のガイド孔(貫通孔)216が開設されている。また、セラミックス基板202の下面には、放熱特性を改善するために金メッキ217が施されている。

【0041】

図15(a)において円形に見える各レンズ204, 206, 208の中心に対応するセラミックス基板202上に、LEDアレイチップ2が1個ずつ(全部で3個)実装されている。

セラミックス基板202は、厚さ0.5mmでAlNを主材料とする2枚のセラミックス基板201, 203が積層されてなるセラミックス基板である。なお、セラミックス基板の材料としては、AlN以外に、Al₂O₃、BN、MgO、ZnO、SiC、ダイヤモンドなどが考えられる。

【0042】

LEDアレイチップ2は、下層のセラミックス基板201に実装されている。上層のセラミックス基板203には、LEDアレイチップ2を実装する空間を創出するテーパ状の貫通孔215が開設されている。

LEDアレイチップ2の各実装位置に対応するセラミックス基板201上面には、図16(b)に示すような、カソードパッド218とアノードパッド220とが形成されている。両パッドには、銅(Cu)の表面に、ニッケル(Ni)めっき、ついで、金(Au)めっきを行なったものが用いられている。LEDアレイチップ2は、SiC基板4を下方に向けた状態で実装される。このとき、給電端子36とカソードパッド218が、給電端子38とアノードパッド220とがハンダによって接合される。なお、ハンダによらず、金バンプや銀ペーストによって接合しても構わない。

【0043】

LEDアレイチップ2は、光出射面にボンディングワイヤーなどの光遮蔽物が無いので、照明光に影が現れることがない。この特徴は、照明用光源にとって非常に有利な点である。

ここで、実装に供されるLEDアレイチップは、実装前に実施される色むら等の光学的特性検査に合格したものである。すなわち、本実施の形態によれば、LEDアレイチップ自体が蛍光体膜を有しており、白色光を発することができるので、当該LEDアレイチップの実装前に上記光学的特性検査を実行することが可能なり、当該光学的特性に起因して、LEDモジュールが不良品(規格外)となることを未然に防止することができるのである。その結果、完成品(LEDモジュール)の歩留まりが向上することとなる。

【0044】

上層のセラミックス基板203に開設された前記貫通孔215の側壁および当該セラミックス基板203の上面にはアルミ反射膜219が形成されている。

レンズ204, 206, 208は、セラミックス基板203に重ねて接着剤221を介して貼着されている。当該接着剤としてはシリコン樹脂やエポキシ樹脂などを用いることができる。

【0045】

3個のLEDアレイチップ2は、セラミックス基板201上面に形成された配線パターンによって、並列に接続されている。

図16(a)は、レンズ204, 206, 208を取り除いた状態のLEDモジュール200の平面図である。ここで、3個のLEDアレイチップ2を、符号A, B, Cを付して区別することとする。

【0046】

LEDアレイチップ2A, 2B, 2C各々の実装位置のセラミックス基板201表面には、上述したようにアノードパッド220とカソードパッド218(図16(b))が配されている。

そして、各LEDアレイチップ2A, 2B, 2Cと接続されたアノードパッド220は、配線パターン236を介して電氣的に接続されており、配線パターン236の端部は、スルーホール237を介して、正極端子212と接続されている。一方、各LEDアレイチップ2A, 2B, 2Cと接続されたカソードパッド218は、配線パターン238を介して電氣的に接続されており、配線パターン238の端部は、スルーホール239を介して、負極端子214と接続されている。すなわち、配線パターン236, 238によって

、LEDアレイチップ2A、2B、2Cは、並列に接続されている。

【0047】

上記のように構成されたLEDモジュール200は、照明器具240に取り付けられて使用される。LEDモジュール200と照明器具240とで照明装置242が構成される。

図17(a)に、照明装置242の概略斜視図を、図17(b)に、照明装置242の底面図をそれぞれ示す。

【0048】

照明器具240は、例えば、室内の天井等に固定される。照明器具240は、商用電源からの交流電力(例えば、100V、50/60Hz)を、LEDモジュール200を駆動するのに必要な直流電力に変換する電源回路(不図示)を備えている。

図18を参照しながら、LEDモジュール200の照明器具240への取り付け構造について説明する。

【0049】

照明器具240は、LEDモジュール200がはめ込まれる円形凹部244を有している。円形凹部244の底面は、平坦面に仕上げられている。円形凹部244の内壁の開口部寄り部分には、雌ねじ(不図示)が切られている。また、当該雌ねじと底面との間における内壁から、フレキシブルな給電端子246、248と、ガイド片230とが突出されている。なお、給電端子246が正極、給電端子248が負極である。さらに、円形凹部244の底面中央にはガイドピンが立設されている。

【0050】

LEDモジュール200を照明器具240へ取り付けるための部材として、シリコンゴム製のOリング254とリングねじ256とが備えられている。リングねじ256は略矩形断面を有するリング状をしており、その外周には、不図示の雄ねじが形成されている。また、リングねじ256は、その周方向の一部が切り欠かれてなる切欠き部258を有している。

【0051】

続いて、取り付け手順について説明する。

まず、LEDモジュール200を、円形凹部244にはめ込む。このとき、LEDモジュール200のセラミックス基板202が、給電端子246、248と円形凹部244の底面との間に位置すると共に、ガイド孔216にガイドピン252が挿入され、ガイド凹部210とガイド片230とが係合するようにはめ込む。ガイド孔216とガイドピン252とで、LEDモジュール200の円形凹部244に対するセンターの位置合わせがなされ、ガイド凹部210とガイド片230とで、正極端子212、負極端子214と対応する給電端子246、248との位置合わせがなされる。

【0052】

LEDモジュール200がはめ込まれると、Oリング254を装着した後、リングねじ256を円形凹部244にねじ込んで固定する。これにより、正極端子212と給電端子246、負極端子214と給電端子248とが密着し、電氣的に確実に接続されることとなる。また、セラミックス基板202のほぼ全面と円形凹部244の平坦な底面とが密着することとなり、LEDモジュール200で発生した熱を照明器具240へ効果的に伝達し、LEDモジュール200の冷却効果が向上することとなる。なお、LEDモジュール200の照明器具240への熱伝達効率をさらに上げるため、セラミックス基板202と円形凹部244の底面にシリコングリスを塗布することとしてもよい。

【0053】

上記の構成からなる照明装置242において、商用電源から給電がなされると、前述したように、各LEDアレイチップ2における青色LED6からは青色光が発せられる。青色光の一部は蛍光体膜48中の蛍光体によって黄色光に変換される。そして青色光と黄色光が混色されて白色光が合成される。合成された白色光は、レンズ204、206、208を介して放射される。

【0054】

LEDアレイチップ2から得られる白色光のスポット形状は、前述したようにほぼ円形となるのであるが、当該LEDアレイチップ2を複数個（本例では3個）用いた照明装置242においても、レンズ径およびレンズ間の配置間隔に比して十分距離のある被照射面においては、略円形のスポット形状が得られるのである。

各LEDモジュール200に対し150mAの電流を流したときの際の全光束は800lm、中心光度は1500cdであった。また、その発光スペクトルは、図19に示す通りであった。

【0055】

以上、本発明を実施の形態に基づいて説明してきたが、本発明は上記形態に限らないことは勿論であり、例えば、以下のような形態とすることも可能である。

(1) 上記実施の形態では、半導体多層膜を略円柱状に形成したが、これに限らず、N角柱状（Nは5以上の整数）としてもよい。すなわち、5角以上の柱状体とすることにより、得られる光のスポット形状が方形よりも円形に近づいたものとなるからである。また、N角柱状とする場合には、正N角柱状とし、Nは偶数であることが好ましい。こうすることにより、円形の場合と同様、点対称となるスポット形状が得られるからである。

(2) 上記実施の形態で開示した発光モジュールや照明装置では、LEDアレイチップ（半導体発光装置）で得られる円形のビーム形状をほとんど損なうことなく、最終的に得られるビームの形状も円形（点対称形）となるように構成した。しかしながら、発光モジュールや照明装置の用途によっては、最終的なビームに非対称形が要求される場合がある。このような場合であっても、本半導体発光装置によれば、所望の非点対称形ビーム光を容易に得ることが可能である。すなわち、本半導体発光装置では、上述したように、点対称のビーム光を得ることができるので、このようなビーム光を所望の形状に変換させることは、比較的簡単だからである。非点対称形のビームを得るためには、本半導体発光装置の光出射側に、当該光半導体発光装置のビーム形状を所望の形状に変換する公知の機構を設ければよい。このような機構を設けた照明装置としては、自動車前照灯などが考えられる。

(3) 上記実施の形態では、柱状体に形成された半導体多層膜を36の領域に分割して、36個の独立したLED（発光素子）を形成することとしたが、分割する個数は、36個に限らず、任意である。

また、分割することなく一体的な円柱状またはN角柱状のままとしても構わない。すなわち、アレイとせずに、1個のLED（発光素子）で一LEDチップを構成することとしてもよい。

(4) 上記実施の形態では、半導体多層膜を全層に渡って除去することにより、柱状部を形成することとしたが（図11工程（h）参照）、半導体多層膜の除去範囲は、全層に限らない（ただし、分割溝は全層を除去して形成する必要がある）。最外層（ n^+ -Ga_{0.4}N層124）から、少なくとも、発光層18とSiC基板104との間に存する導電型層（ n -Ga_{0.4}Nクラッド層116）までが除去されれば足りるのである。少なくとも上記範囲で除去することにより、LED（アレイ）において、少なくとも光が射出される面を円柱表面状にすることができるからである。また、前記最外層主面のみならず、柱状部側面にも相当の厚みで蛍光体膜を形成することが可能となり、上述した色むらを抑制することが可能となるからである。

(5) 上記実施の形態では、 n -AlGa_{0.4}Nバッファ層～ p -Ga_{0.4}Nコンタクト層からなる半導体多層膜の結晶成長のベースとなる基板にSiC基板を用いた。これは、SiC基板は、銅やアルミと同等以上の高い熱伝導率を有しているため、発光層で生じた熱を、LEDアレイチップが実装されているプリント配線板であるセラミックス基板に効果的に放散させることができるからである。したがって、SiC基板の代わりに、同様に高い熱伝導率を有するAlN基板、Ga_{0.4}N基板、BN基板、Si基板を用いてもよい。

【0056】

あるいは、熱伝導率は少し劣るが、本発明を実施する上では、一般的に用いられている

サファイヤ基板を用いても構わない。

(6) 上記実施の形態では、LEDアレイチップを約2mm角のサイズにしたが、LEDアレイチップのサイズはこれに限定するものではない。

(7) 上記実施の形態では、光取出し効率を向上させるための凹凸構造を、 n^+ -Ga_{0.5}N再成長層によって構成したが、当該凹凸構造の構成方法はこれに限らない。例えば、p-GaNコンタクト層の成長後、これをパターンマスクで覆い、エッチングによって凹凸構造を形成する方法や、同じくp-GaNコンタクト層の成長後、Ta₂O₅などの誘電体層を形成し、これをパターンマスクで覆った後エッチングにより凹凸構造を形成する方法が考えられる。

【産業上の利用可能性】

【0057】

以上のように、本発明に係る半導体発光装置は、略円形または方形よりも円形に近づいたスポット形状を必要とする照明分野などに適する。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図1】 LEDアレイチップの斜視図である。

【図2】 LEDアレイチップの平面図である。

【図3】 (a)は、図1(b)におけるA-A線断面図であり、(b)は、同B-B線断面図である。

【図4】 (a)は、上記LEDアレイチップ内の接続図である。(b)は上記LEDアレイチップの下面図である。

【図5】 LEDアレイチップの製造方法を説明するための図である。

【図6】 LEDアレイチップの製造方法を説明するための図である。

【図7】 LEDアレイチップの製造方法を説明するための図である。

【図8】 LEDアレイチップの製造方法を説明するための図である。

【図9】 LEDアレイチップの製造方法を説明するための図である。

【図10】 LEDアレイチップの製造方法を説明するための図である。

【図11】 LEDアレイチップの製造方法を説明するための図である。

【図12】 LEDアレイチップの製造方法を説明するための図である。

【図13】 LEDアレイチップの製造方法を説明するための図である。

【図14】 LEDモジュールの斜視図である。

【図15】 (a)は、LEDモジュールの平面図である。(b)は、(a)におけるE-E線断面図である。(c)は、(b)におけるF部拡大図である。

【図16】 (a)は、LEDモジュールにおいて、レンズを取り除いた状態を示す図である。(b)は、LEDモジュールを構成するセラミックス基板上に形成されるパッドパターンを示す図である。

【図17】 (a)は、照明装置を示す斜視図である。(b)は、上記照明装置の下面図である。

【図18】 照明装置の分解斜視図である。

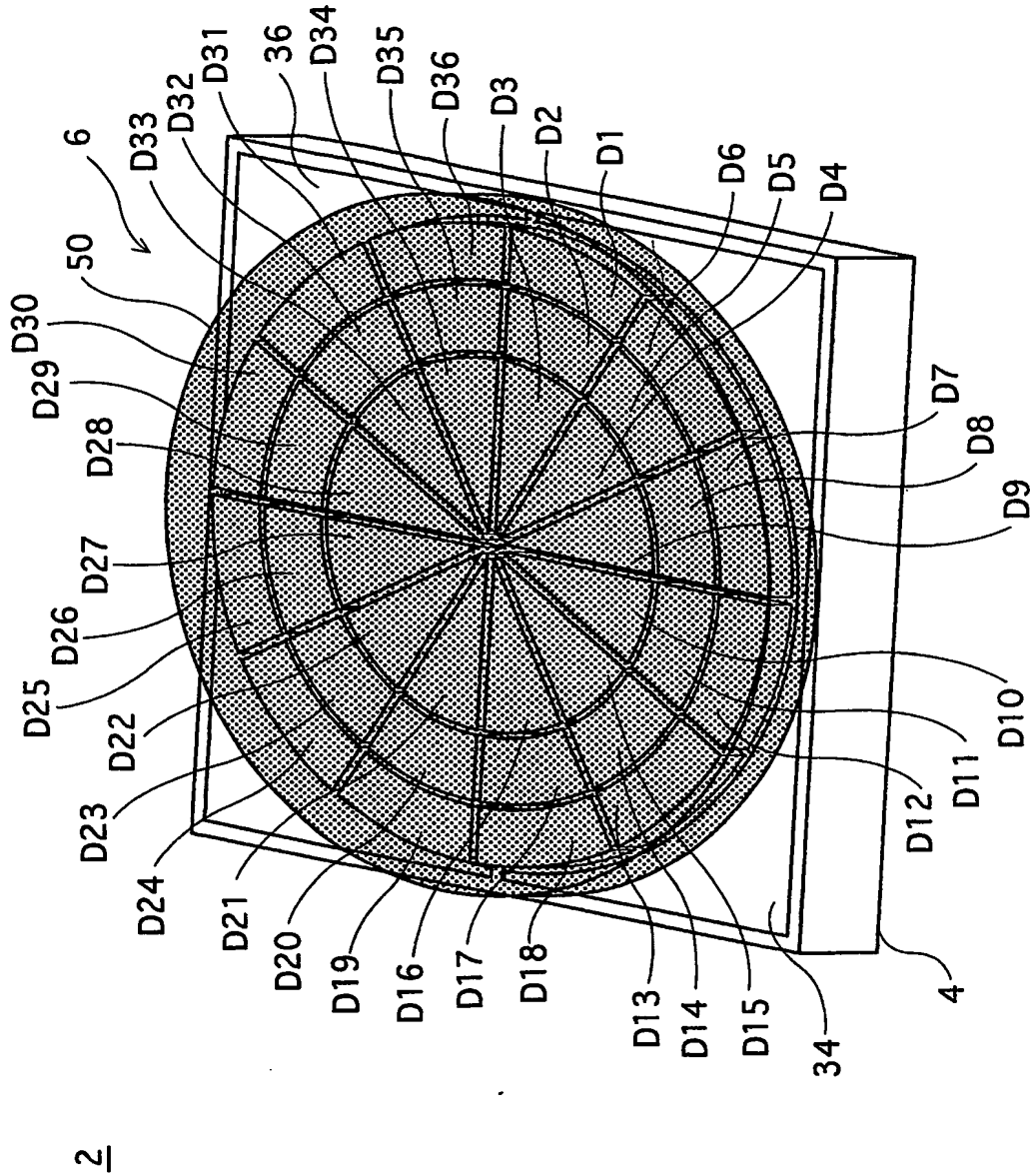
【図19】 照明装置の発光スペクトルを示す図である。

【符号の説明】

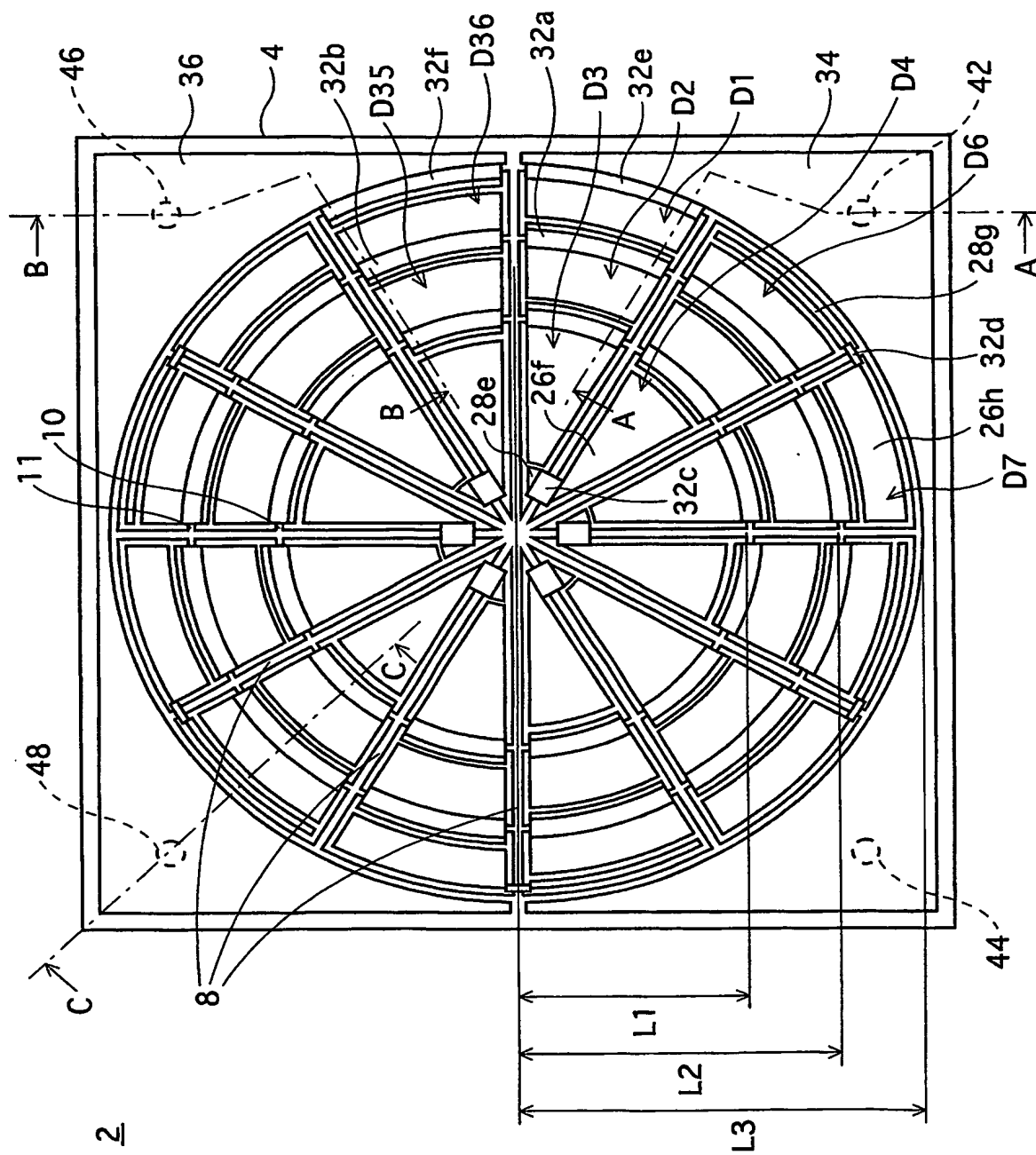
【0059】

- 4 SiC基板
- 6 柱状部
- 8、10、11 分割溝
- 14 n-AlGa_{0.5}N/GaN 30周期のDBR層
- 18 InGa_{0.5}N/GaN 6周期の多重量子井戸発光層
- 50 蛍光体膜

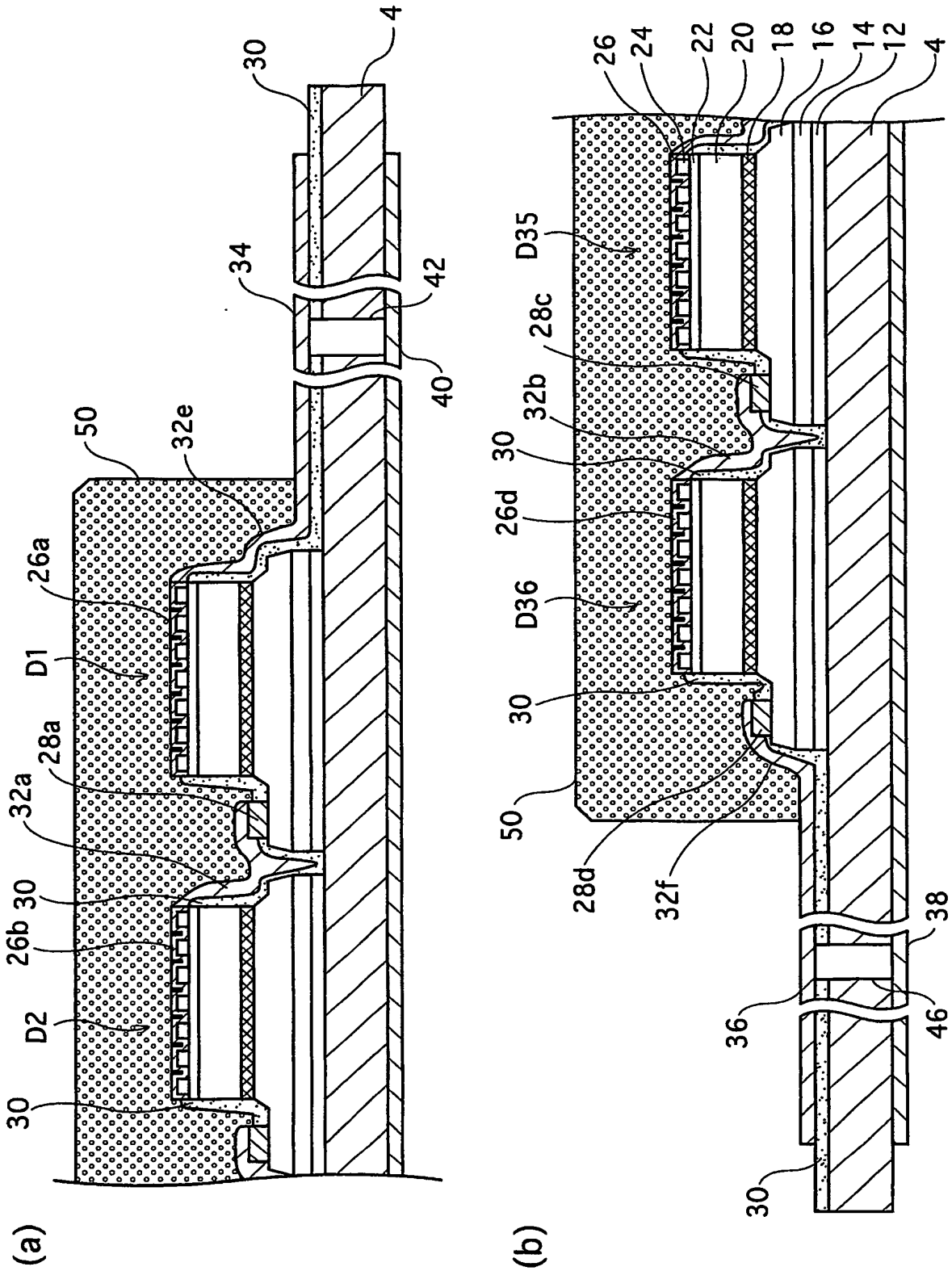
【書類名】 図面
【図 1】



【図2】

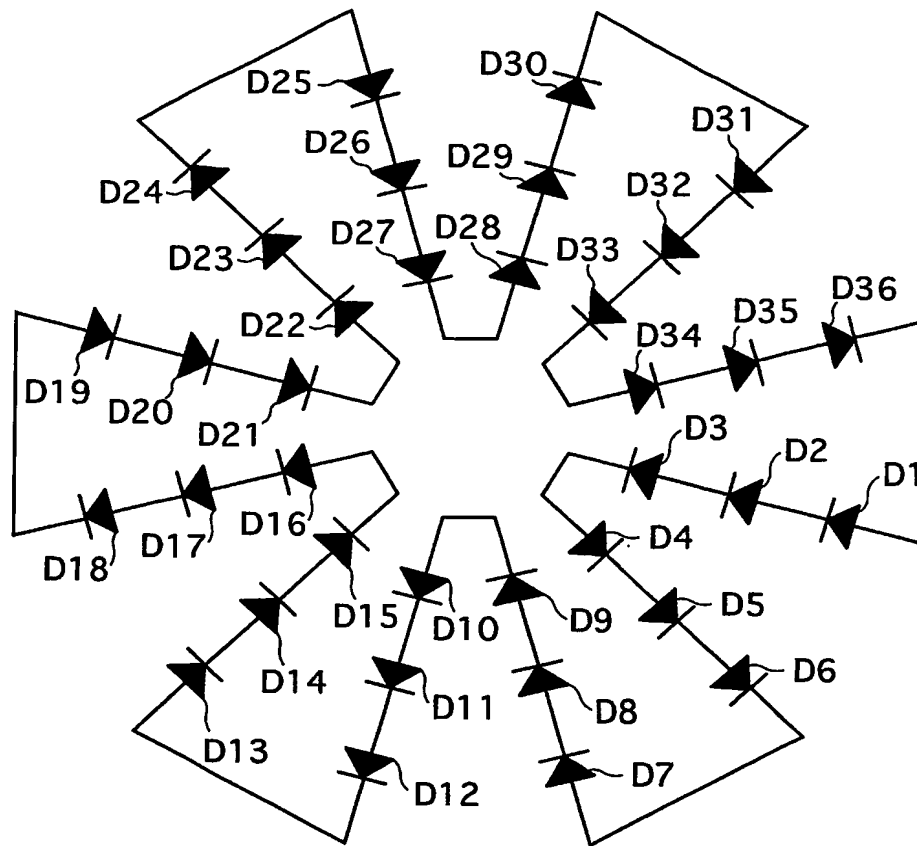


【図3】

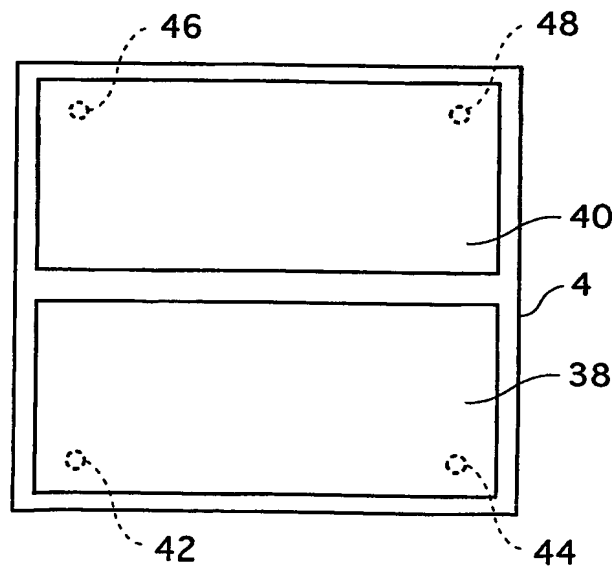


【図 4】

(a)

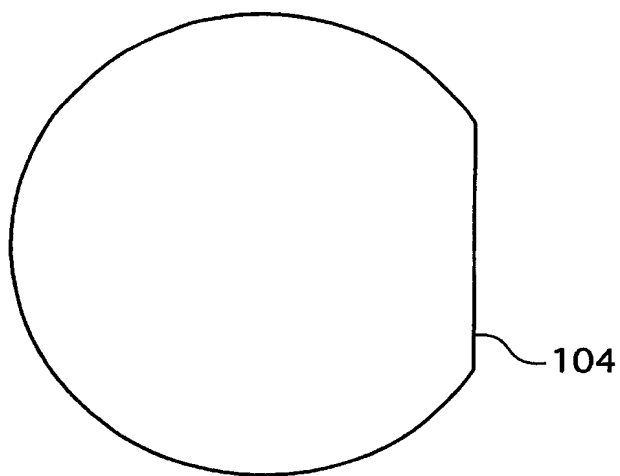


(b)

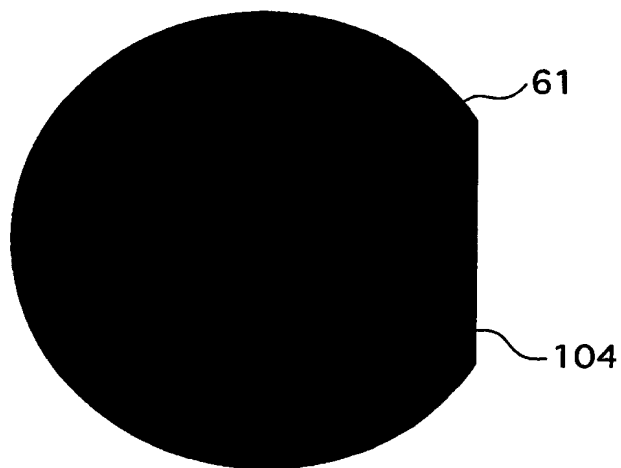


【図 5】

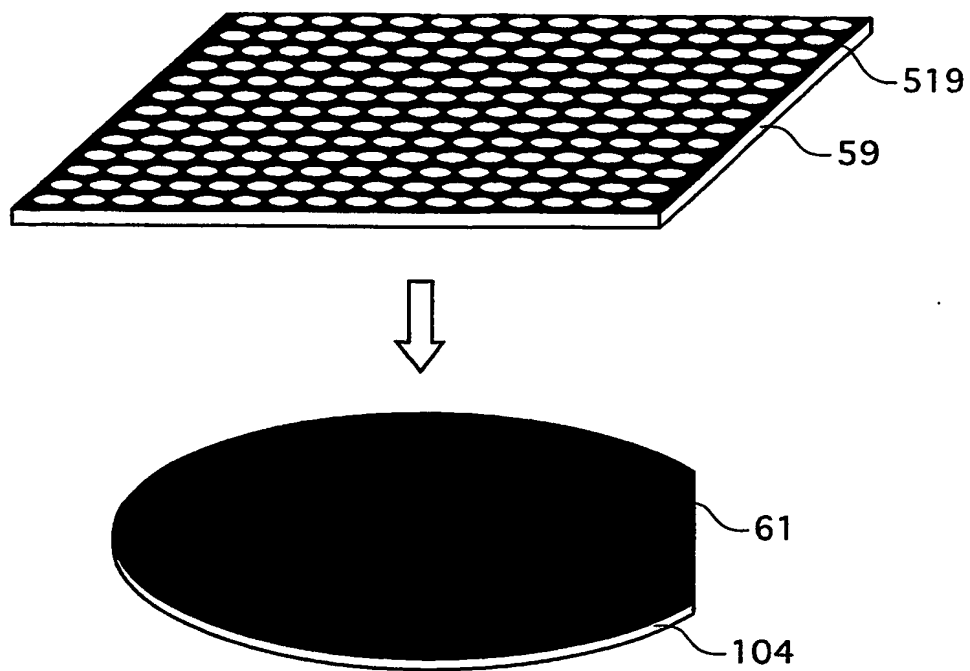
(a)



(b)



【図 6】

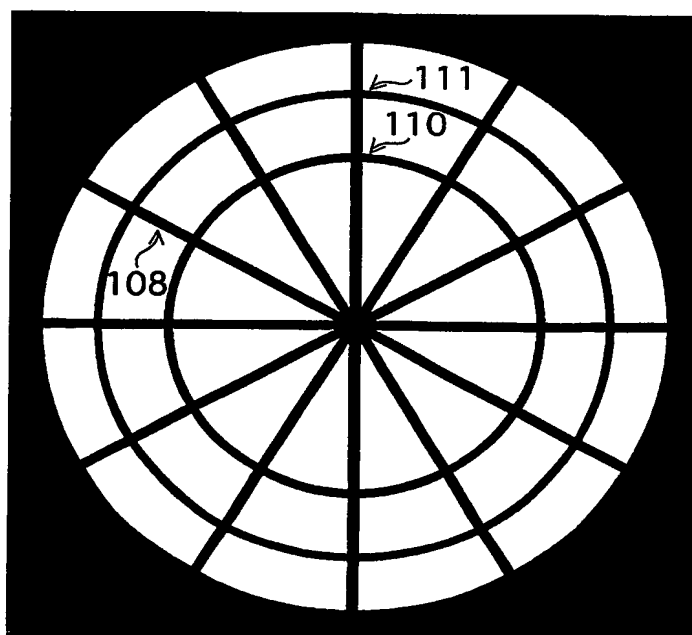


【図 7】

(a)

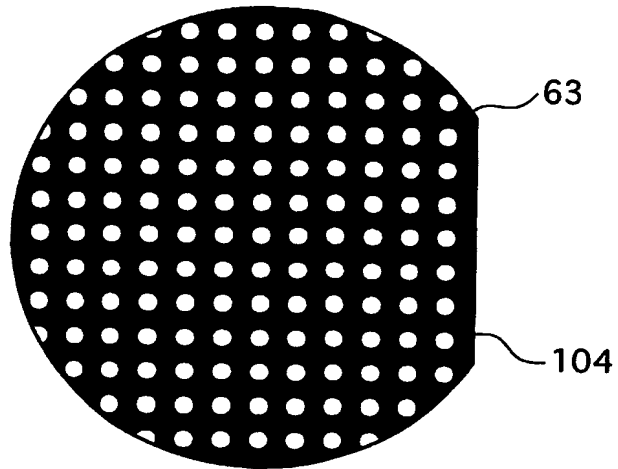


(b)

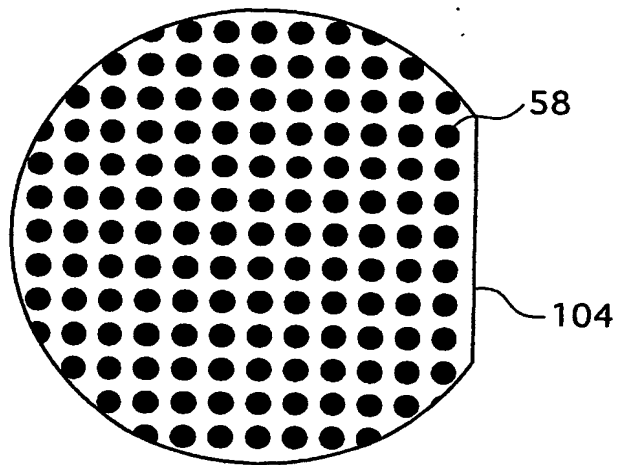


【図 8】

(a)

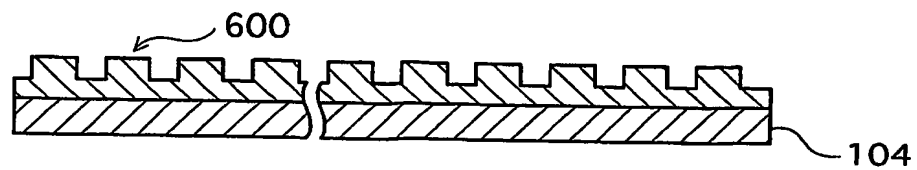


(b)

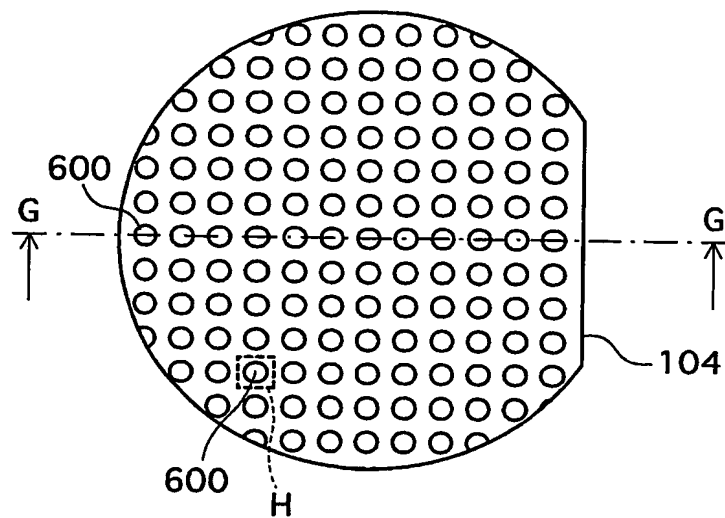


【図 9】

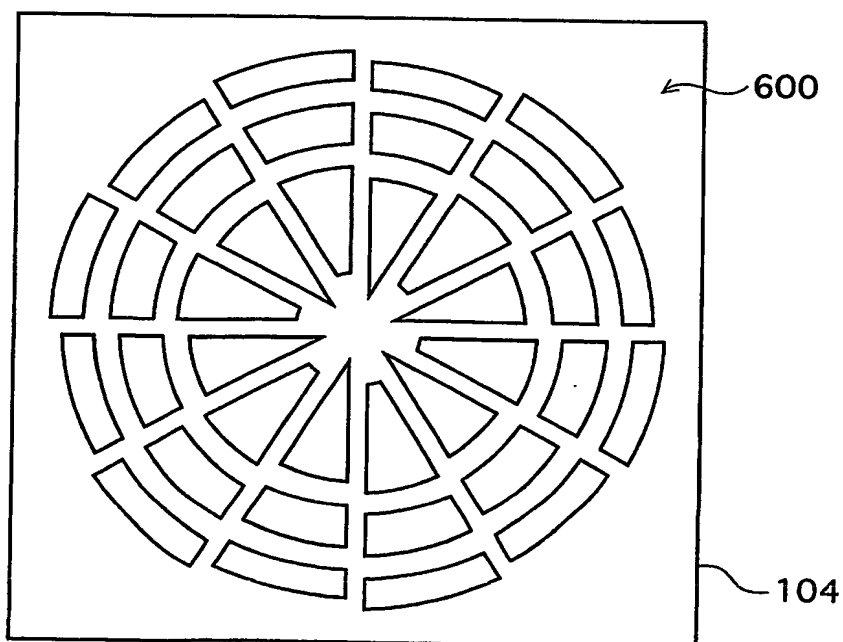
(a)



(b)

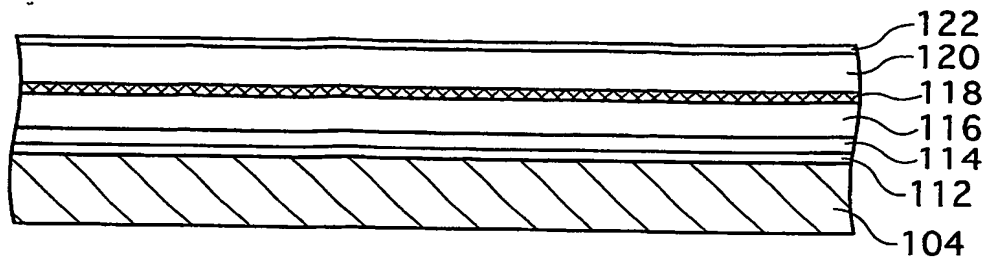


(c)

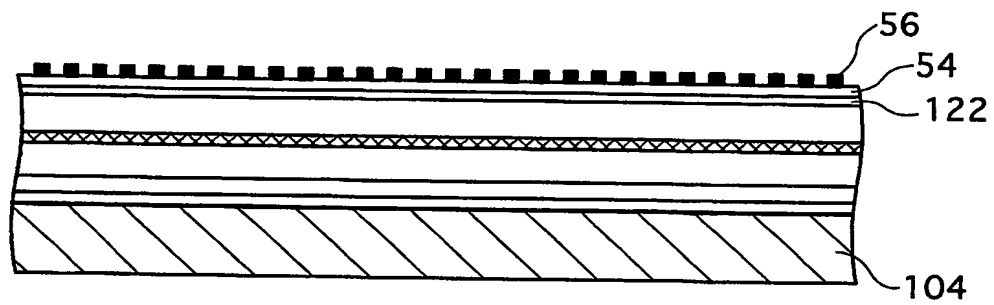


【図 10】

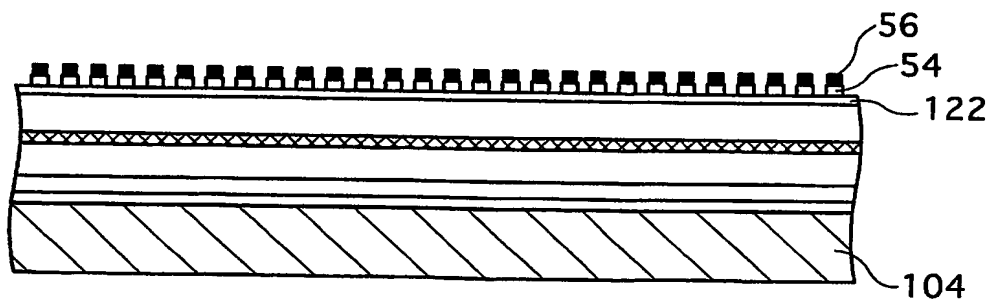
(a)



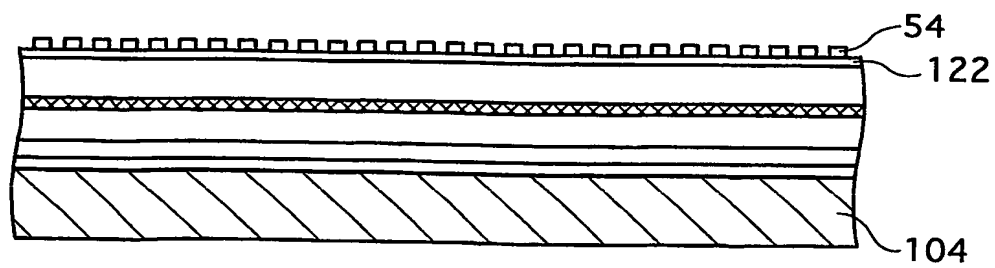
(b)



(c)

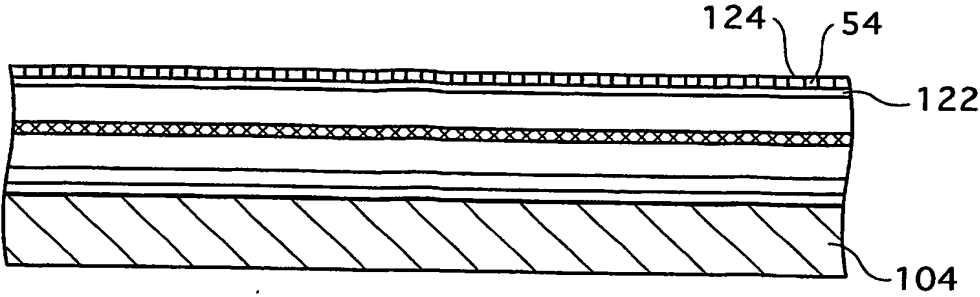


(d)

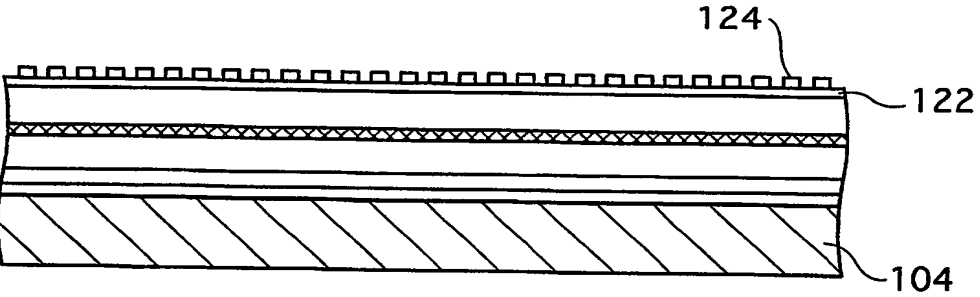


【図 11】

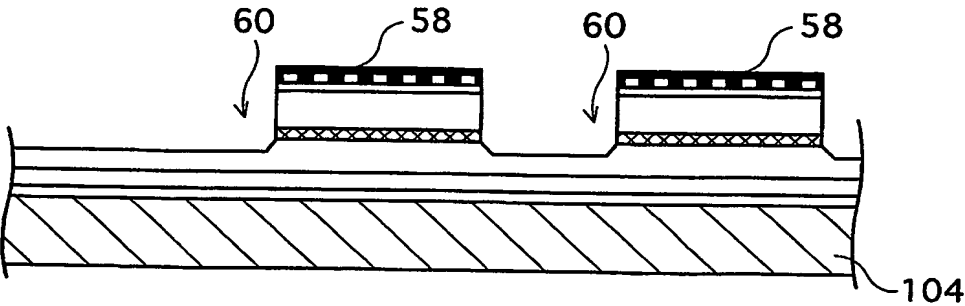
(e)



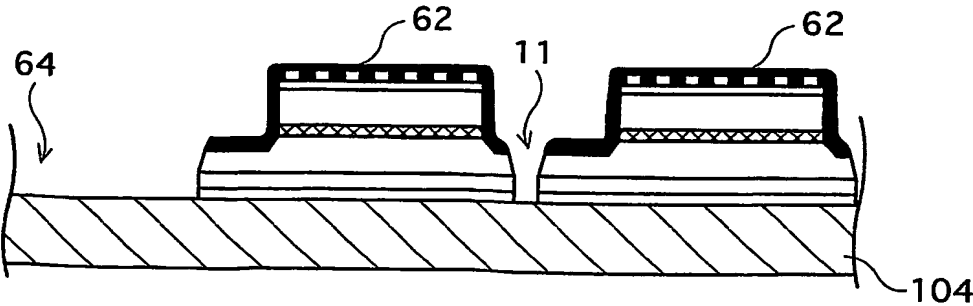
(f)



(g)

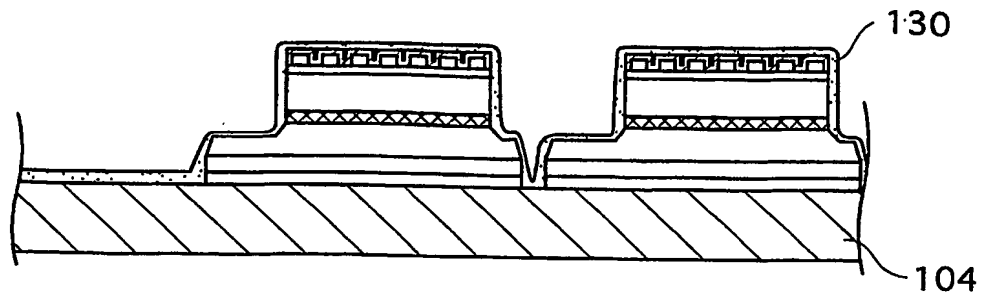


(h)

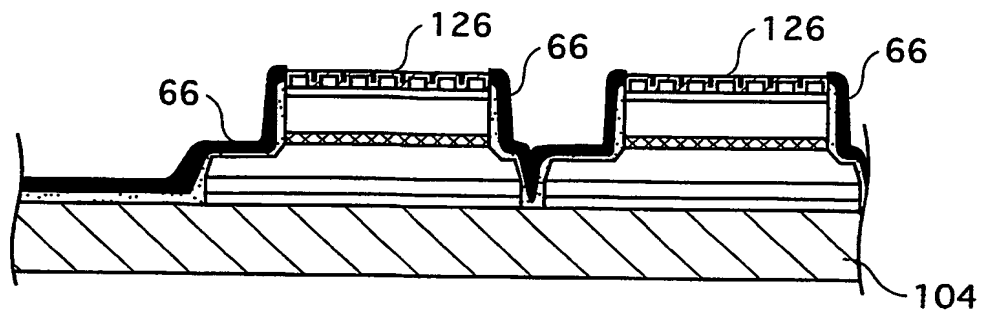


【図 12】

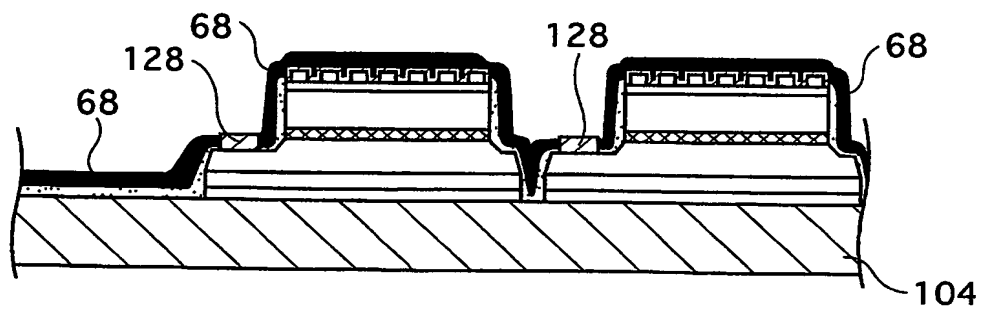
(i)



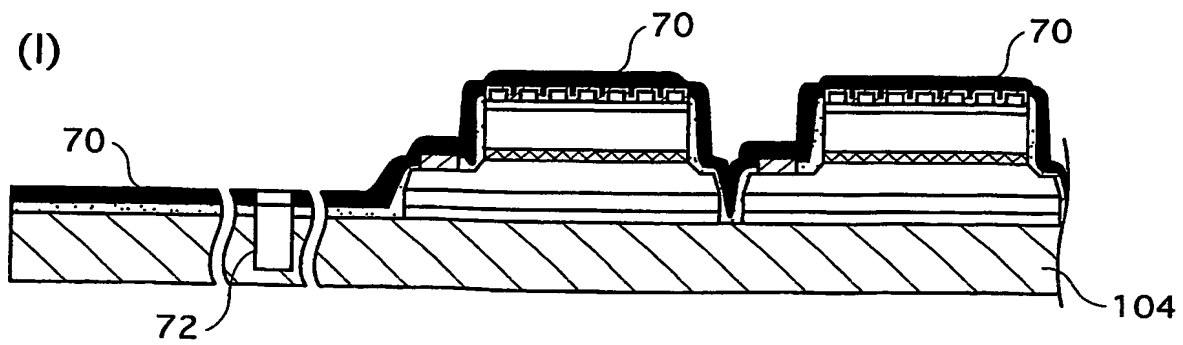
(j)



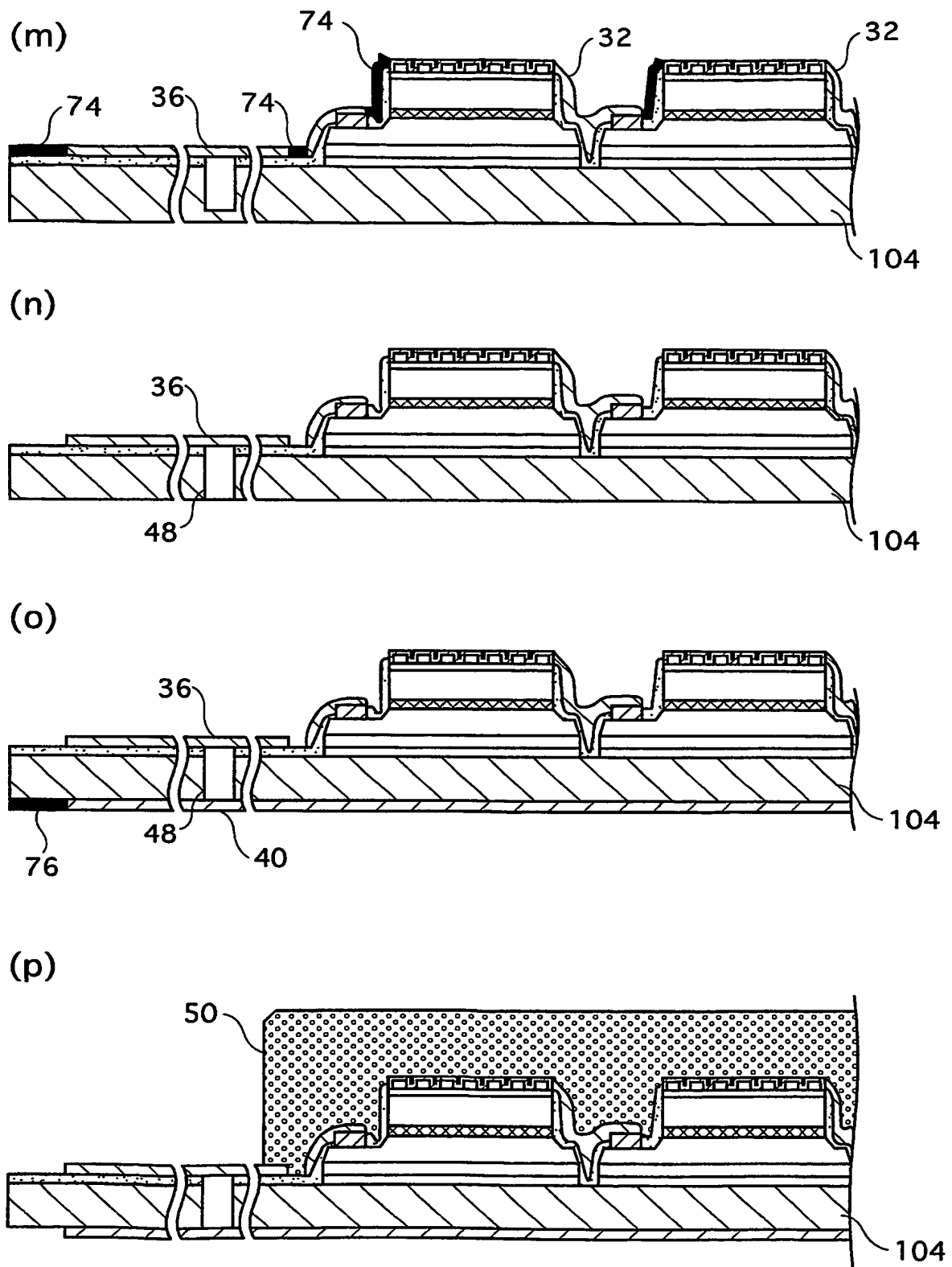
(k)



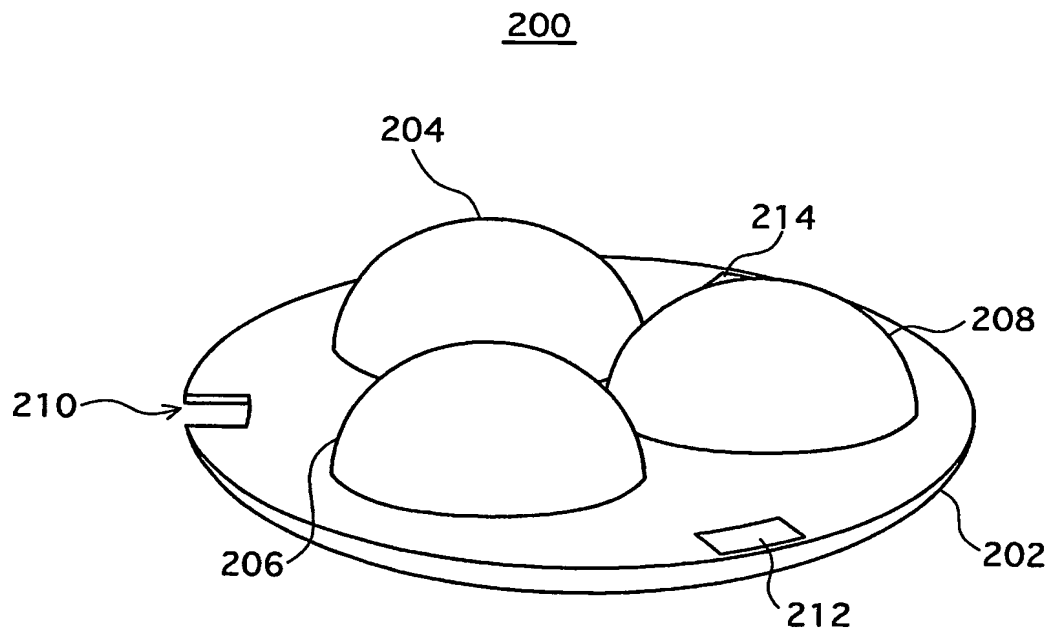
(l)



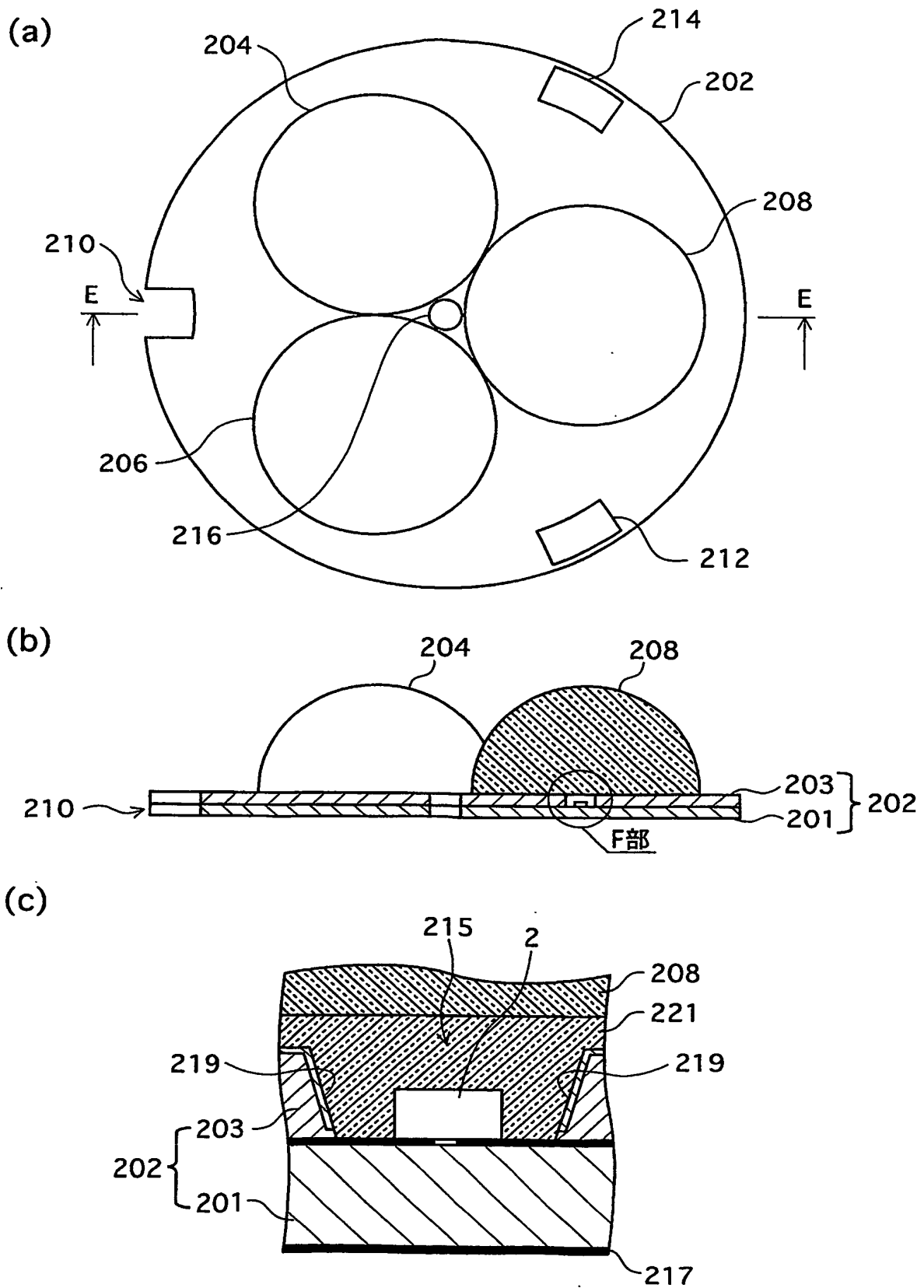
【図 13】



【図 14】

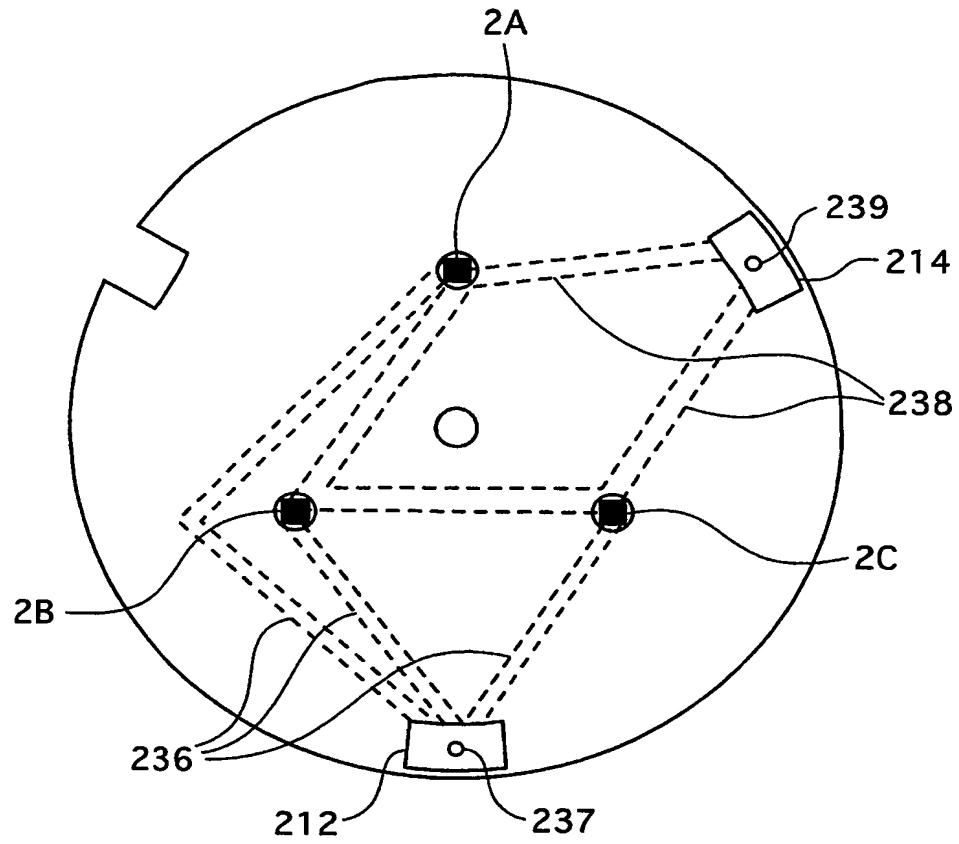


【図 15】

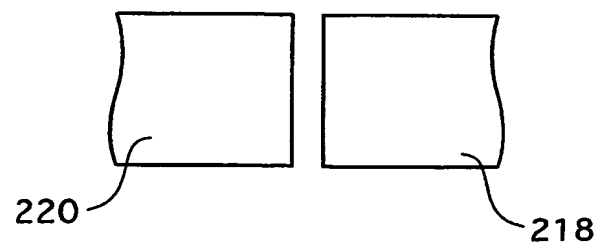


【図 16】

(a)

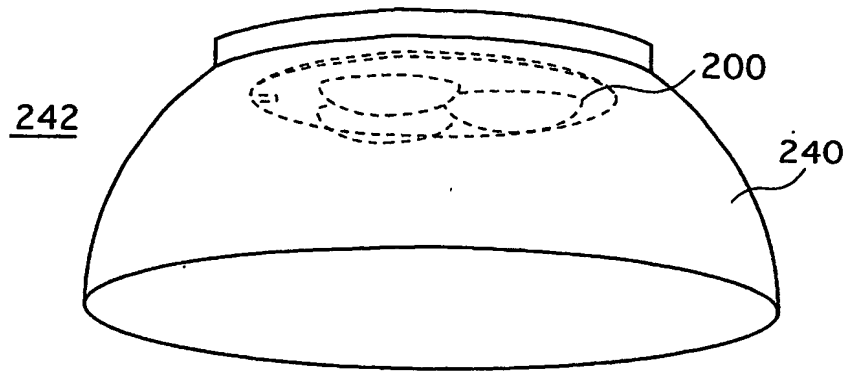


(b)

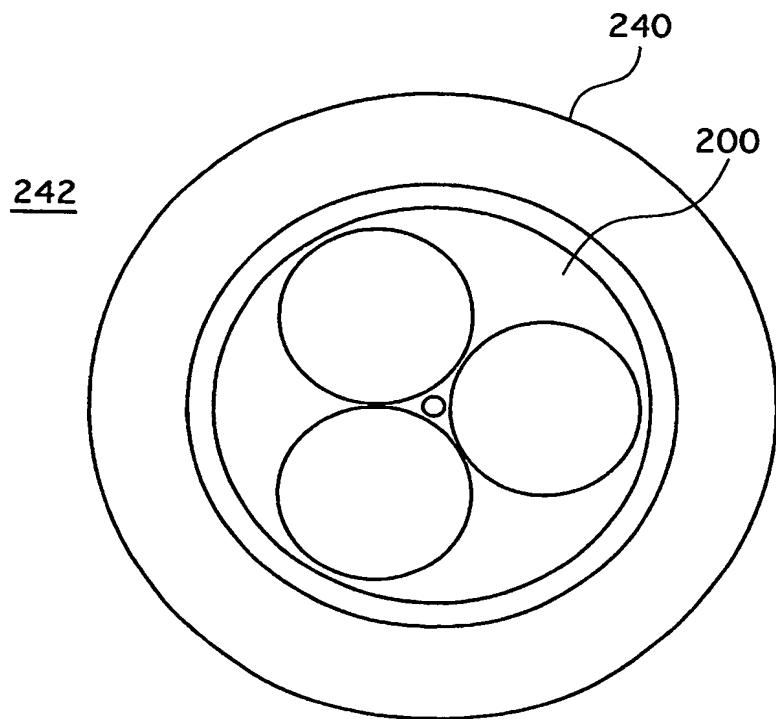


【図 17】

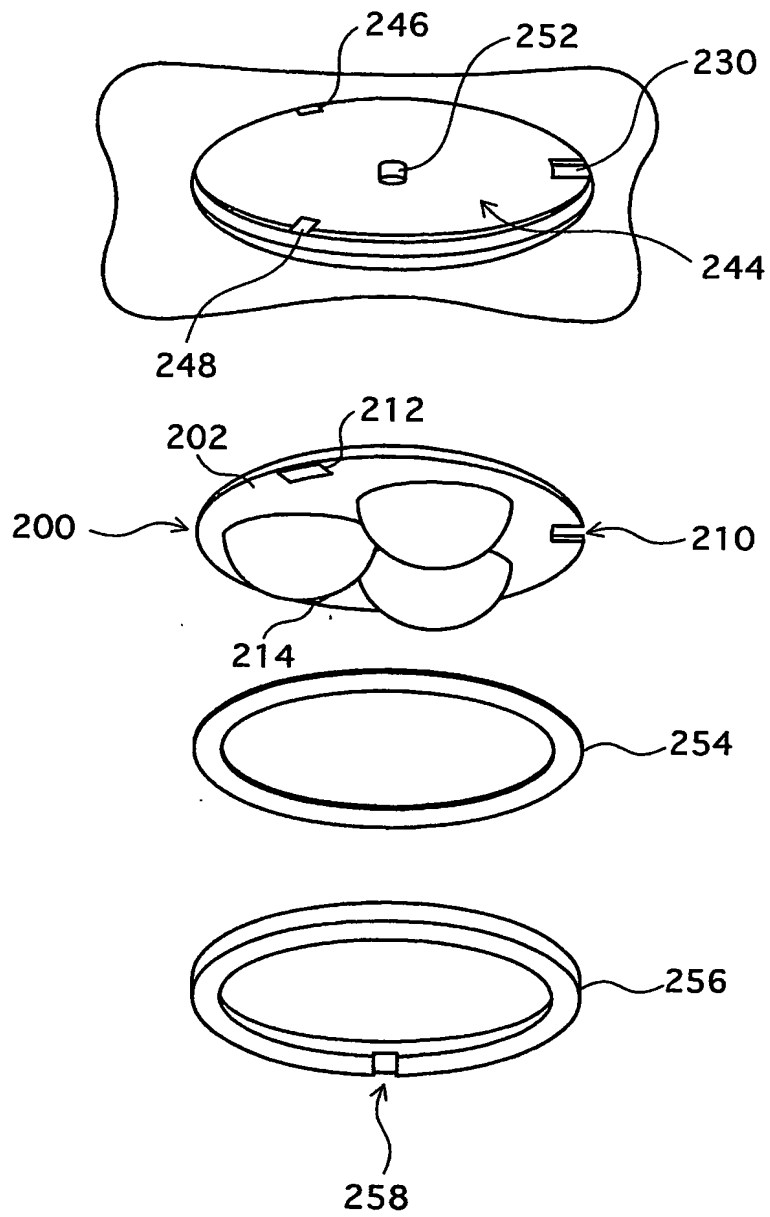
(a)



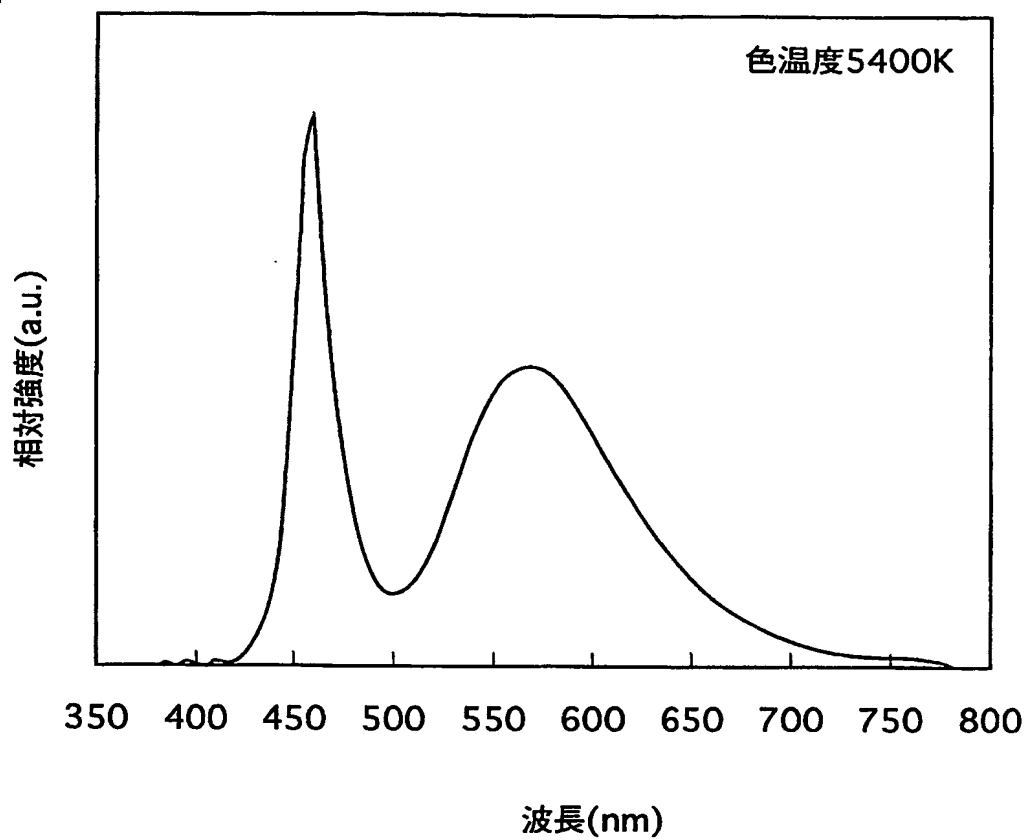
(b)



【図 18】



【図 19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ビームのスポット形状が略円形となる半導体発光装置を提供すること。

【解決手段】 LEDアレイチップ2（半導体発光装置）は、SiC基板4と、当該SiC基板4上に結晶成長によって形成された36個のLED（D1～D36）からなるLEDアレイを有している。当該LEDアレイは、全体的に円柱状に形成されている。また、当該円柱状部を、ほぼ均一な厚みで覆う蛍光体膜50を備えている。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 3 4 0 0 2 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.